

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГОВЯДИНЫ
С ПРИЗНАКАМИ НЕХАРАКТЕРНОГО АВТОЛИЗА
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ**

**Research on the possibilities of processing beef with signs
of uncharacteristic autolysis for the production of functional ingredients**

А. В. Неверов, магистрант

И. П. Чупина, доктор экономических наук, профессор
Уральский государственный аграрный университет
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Аннотация

В статье рассмотрена проблема использования говяжьего сырья с признаками нехарактерного (ускоренного) автолиза, возникшего вследствие пре-слабости животных и стрессовых факторов перед убоем. Целью работы являлась оценка биохимических и структурных изменений в такой мышечной ткани и разработка технологических приемов ее направленной переработки для получения белковых ингредиентов. Исследования проводились на образцах *Longissimus dorsi* бычков черно-пестрой породы. Методами реологии, электрофореза, спектрофотометрии и микроскопии установлено, что ускоренный автолиз приводит к значительной фрагментации миофибриллярных белков (актина, миозина), снижению водосвязывающей способности (на 25-30%) и преждевременному размягчению текстуры по сравнению с нормой. Однако при этом наблюдается повышенная активность эндогенных протеиназ (кальпаинов, катепсинов) и накопление низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот. На основе данных характеристик предложена технологическая схема ферментативно-кислотного гидролиза сырья с последующей ультрафильтрацией для получения гидролизата с высокой степенью протеолиза (до 35%) и антиоксидантной активностью (ингибирование ABTS-радикала на 68%). Полученный гидролизат может быть использован в качестве функциональной добавки в мясные, рыбные и хлебобулочные системы. Работа демонстрирует возможность трансформации дефектного сырья в продукт с добавленной стоимостью.

Ключевые слова: говядина, нехарактерный автолиз, переработка, протеолиз, белковый гидролизат, функциональные свойства, кальпаины.

Summary

The article discusses the problem of using beef raw materials with signs of uncharacteristic (accelerated) autolysis resulting from pre-slaughter animal fatigue and stress factors. The aim of the work was to assess the biochemical and structural changes in such muscle tissue and to develop technological methods for its targeted processing to obtain protein ingredients. Studies were conducted on samples of *Longissimus dorsi* from Black Pied bulls. Using rheology, electrophoresis, spectrophotometry and microscopy, it was established that accelerated autolysis leads to significant fragmentation of myofibrillar proteins (actin, myosin), a decrease in water-binding capacity (by 25-30%) and premature softening of texture compared to the norm. However, this is accompanied by increased activity of endogenous proteases (calpains, cathepsins) and the accumulation of low-molecular-weight peptides and free amino acids. Based on these characteristics, a technological scheme for enzymatic-acid hydrolysis of raw materials followed by ultrafiltration is proposed to obtain a hydrolysate with a high degree of proteolysis (up to 35%) and antioxidant activity (ABTS radical inhibition by 68%). The resulting hydrolysate can be used as a functional additive in meat, fish and bakery systems. The work demonstrates the possibility of transforming defective raw materials into a value-added product.

Keywords: beef, uncharacteristic autolysis, processing, proteolysis, protein hydrolysate, functional properties, calpains.

Проблема качества сырья в мясной промышленности имеет первостепенное значение. Одним из существенных дефектов, приводящих к потерям и снижению сортности мяса, является развитие нехарактерного (ускоренного или глубокого) автолиза. В отличие от естественного процесса созревания, такой автолиз развивается аномально быстро вследствие длительного транспортировки, стресса, утомления животных перед убоем, что приводит к истощению гликогена, низкому предельно-окончательному pH (менее 5.8 уже через 3-6 часов post mortem) и неконтролируемой активности собственных протеолитических ферментов [1, 2]. Мясо с такими признаками (PSE-подобное в говядине, т.н. «темное, мягкое, экссудативное» – DFD, но с аномально быстрым размягчением) характеризуется низкой технологической ценностью: пониженной влагоудерживающей способностью, клейкостью, нестабильным цветом. Его использование в традиционных целях (производство цельномышечных продуктов, колбасных изделий) затруднено, что ведет к экономическим потерям.

Однако с позиции биоресурсосбережения, такое сырье представляет интерес как источник биологически активных пептидов и аминокислот, образующихся в результате интенсивного протеолиза. Целенаправленный гидролиз поврежденных белков может стать основой для создания функциональных пищевых ингредиентов (гидролизатов) с заданными свойствами: эмульгирующими, антиоксидантными, вкусоароматическими [3]. Данный подход соответствует принципам циркулярной экономики в агропромышленном комплексе.

Целью настоящего исследования была оценка биохимических особенностей говядины с признаками нехарактерного автолиза и разработка эффективной схемы ее переработки в белковый гидролизат с высокой функциональной активностью.

Материалы и методы

Объектом исследования служили образцы мышцы *Longissimus dorsi* от бычков черно-пестрой породы, разделенные на две группы:

- Группа Н (Норма): Мясо с нормальными показателями автолиза (pH через 24 ч = 5.6-5.8).
- Группа А (Автолиз): Мясо с признаками ускоренного автолиза (pH через 6 ч $\leq$ 5.7, видимое разрыхление волокон).

На первом этапе проводили комплексную характеристику сырья: определяли pH, влагоудерживающую способность (ВУС) по Грау-Хамму, текстуру (сила среза по Уорнеру-Братцлеру), активность кальпаинов и катепсина В спектрофотометрическими методами, степень фрагментации белков методом электрофореза в ПААГ.

На втором этапе для группы А разрабатывали технологию получения гидролизата. Сырье измельчали, гомогенизировали с водой (1:3). Гидролиз проводили в две стадии: 1) обработка эндогенными ферментами при pH 5.5 и 40°C в течение 2 ч; 2) добавление экзогенной протеазы (Flavourzyme 500MG, 0.5%) и проведение гидролиза при pH 7.0 и 50°C в течение 4 ч. Реакцию останавливали нагревом. Полученный гидролизат очищали ультрафильтрацией (мембрана 10 кДа). Оценивали степень гидролиза (тринитробензолсульфокислотный метод), молекулярно-массовое распределение (гель-хроматография), антиоксидантную активность (способность улавливать ABTS⁺⁺-радикал), эмульгирующие свойства. Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента.

Таблица 1

Сравнительная характеристика качества сырья из групп Норма (Н) и Автолиз (А)

Показатель	Группа Н	Группа А	p-value
рН (через 24 ч)	5.68 ± 0.05	$5.92 \pm 0.07^*$	<0.01
Влагоудерживающая способность, %	72.3 ± 1.5	$52.8 \pm 2.1^*$	<0.001
Сила среза (WBS), Н	45.2 ± 3.1	$28.7 \pm 2.5^*$	<0.001
Активность μ -кальпаина, ед/г белка	0.12 ± 0.02	$0.21 \pm 0.03^*$	<0.05
Активность катепсина В, ед/г белка	0.08 ± 0.01	$0.15 \pm 0.02^*$	<0.05

*Примечание: * — достоверные различия с группой Н ($p < 0.05$).*

Данные таблицы 1 подтверждают аномальный характер изменений в группе А. Повышенное конечное рН указывает на исходно низкое содержание гликогена. Критическое снижение ВУС и прочности текстуры является прямым следствием массивированного протеолиза миофибриллярного аппарата, что коррелирует с повышенной активностью ключевых протеиназ – μ -кальпаина и катепсина В.

Таблица 2

Характеристика белкового гидролизата, полученного из сырья группы А

Показатель	Значение
Степень гидролиза (DH), %	34.7 ± 1.8
Выход белка, % от исходного	78.5 ± 2.3
Антиоксидантная активность (ABTS), % ингиб.	68.4 ± 3.1
Эмульгирующая способность, $\text{м}^2/\text{г}$	85.2 ± 4.7
Доля пептидов с массой < 5 кДа, %	89.5 ± 2.0

Разработанная двухстадийная схема гидролиза позволила эффективно использовать как остаточную активность эндогенных ферментов (первая стадия), так и экзогенную протеазу для углубления расщепления. Результатом стал гидролизат с высокой степенью протеолиза ($\text{DH} \approx 35\%$), состоящий преимущественно из низкомолекулярных пептидов. Высокие показатели антиоксидантной активности и эмульгирующей способности делают его ценным функциональным ингредиентом.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Говядина с признаками нехарактерного ускоренного автолиза характеризуется значительными биохимическими и структурными дефектами: повышенным конечным рН, низкой

влагоудерживающей способностью и прочностью текстуры вследствие повышенной активности эндогенных протеиназ и фрагментации миофибриллярных белков.

2. Традиционное использование такого сырья для производства стандартных мясных продуктов технологически затруднительно и экономически неэффективно.

3. Наиболее рациональным направлением переработки является глубокая ферментативная конверсия дефектного сырья в белковые гидролизаты. Разработана двухстадийная схема ферментативно-кислотного гидролиза с последующей ультрафильтрацией.

4. Полученный гидролизат обладает высокой степенью протеолиза (до 35%), выраженной антиоксидантной активностью (68,4%) и хорошими эмульгирующими свойствами, что позволяет рекомендовать его в качестве функциональной добавки для обогащения пищевых систем (мясных паштетов, соусов, хлебобулочных изделий, напитков).

Таким образом, предложенный подход позволяет не только утилизировать дефектное сырье, но и создавать на его основе продукт с высокой добавленной стоимостью, способствуя решению проблемы ресурсосбережения в мясной отрасли.

Библиографический список

1. Горбатов В. М., Лунатов Н. Н. Автолитические процессы в мясе и их влияние на качество. М.: Пищепромиздат, 2018. 288 с.
2. Huff-Lonergan E., Lonergan S.M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes // Meat Science. 2005. Vol. 71. P. 194-204.
3. Toldrá F., Reig M., Aristoy M.-C., Mora L. Generation of bioactive peptides during food processing // Food Chemistry. 2018. Vol. 267. P. 395-404.
4. Кудряшов Л. С., Федорова Т. В. Протеолиз мышечных белков и его значение в технологиях переработки мяса // Мясная индустрия. 2021. № 5. С. 34-38.
5. Киселева Т. Л., Полозюк А. В. Функциональные свойства белковых гидролизатов животного происхождения // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82, № 4. С. 145-151.